聋人阅读中的副中央凹视觉注意增强效应——来自消失文本的证据*

刘　璐[1,2]　闫国利[1]

([1]天津师范大学心理与行为研究院，天津　300074) ([2]鲁东大学教育科学学院，烟台　264011)

摘　要　为适应失聪后的复杂环境，聋人视觉注意资源的空间分布发生改变，这对聋人的阅读加工产生了影响。本研究尝试提出“聋人阅读中的副中央凹视觉注意增强效应”，并采用消失文本范式考察这一效应对聋人读者副中央凹及中央凹处词汇信息视觉编码效率的影响。结果发现，在词 n+1 短暂呈现时，聋生快速编码副中央凹处文本信息的加工效率与其生理年龄匹配组相近，高于阅读能力匹配组；但在词 n 短暂呈现时，聋生快速编码中央凹处文本信息的加工效率落后于健听控制组，其词汇通达和总阅读效率均受阻。综上所述，本研究证实了聋人阅读中的副中央凹视觉注意增强效应，表现为副中央凹加工效率增强，但中央凹加工效率受阻。

关键词　聋人；副中央凹视觉注意增强效应；消失文本；眼动；中文阅读

分类号　B842

1　前言

听觉作为人类主要的感觉通道之一，不仅能够感知外界各种声音信息，而且是人类言语习得与交流的重要通路。研究显示，聋人读者普遍存在阅读困难(贺荟中，贺利中，2007; Mayberry, del Giudice, & Lieberman, 2011)，其阅读能力远低于同龄健听人群(Kelly & Barac-Cikoja, 2007; 张茂林，杜晓新, 2011)，甚至存在较高的文盲率(Bélanger, 2009; Bélanger & Rayner, 2015)。

阅读过程起始于文本信息的视觉输入，视觉注意与阅读加工密切相关(Casco, Tressoldi, & Dellantonio, 1998; Rayner, 1977)。研究表明，个体的视觉注意能力与其阅读表现之间存在正相关(Bosse & Valdois, 2009)，阅读效率低可能与视觉注意缺陷有关(张学民，朱冬青，张慧婷，申继亮，林崇德，2006)。对聋人而言，听觉通道信息输入的缺失使其视觉通道的信息获取尤为重要。由于大脑可塑性的特点，聋人缺乏听觉刺激经验会促进视觉认知的增强；但这种视觉认知的增强是具有选择性，聋人仅表现出对边缘视野处或运动刺激的视觉加工增强(Lork & Song, 1991; Stevens & Neville, 2006; Codina, Buckley, Port, & Pascalis, 2011)。因此，有研究认为，由于视−听跨通道整合(auditory-visual convergence)的补偿机制，多感觉联合皮层以及早期视觉皮层在听觉输入丧失后发生重组，表现出对视觉通道，尤其是边缘视野处刺激更大的敏感性(Bavelier et al., 2001)；但由于空间注意资源是有限的，聋人的视觉注意资源

在空间上进行再分配——从中央视野转移到了中央以外视野，在中央以外视野处视觉注意资源分配增多，以对来自更广范围的视觉信息输入进行功能性补偿(Bavelier, Dye, & Hauser, 2006; Dye, Hauser, & Bavelier, 2009; Dye & Bavelier, 2010; 项明强, 胡耿丹, 2010; 王庭蔚, 杨娟, 2013)。

多数聋人读者通过视觉加工来习得语言，其视觉注意资源分配的改变必然会导致阅读过程中视知觉加工的改变，首先表现在使聋人读者对副中央凹处的视觉信息输入产生偏向(Dye, Hauser, & Bavelier, 2008)，因而从副中央凹处获取信息的范围和加工阶段与健听读者可能不同。一方面，在副中央凹获取信息的范围上：以往研究发现，无论是英语还是汉语阅读中，聋人读者的阅读知觉广度均大于健听读者(Bélanger, Slattery, Mayberry, & Rayner, 2012; 乔静芝, 张兰兰, 闫国利, 2011)，这表明聋人读者能够从副中央凹处获取更大范围的文本信息；另一方面，在副中央凹获取信息的加工阶段上：有研究发现，相比于阅读水平匹配的健听读者(小学五年级学生)，中国聋人读者(高中生)能够在更早期的加工中(反映在首次注视时间上)就从副中央凹预加工中获得语义预视效应(Yan, Pan, Bélanger, & Shu, 2015)和手语表征预视效应(Pan, Shu, Wang, & Yan, 2015)，这表明聋人读者在副中央凹处的加工效率足够高，使其能够更早地获得对预视信息的词汇通达。

但聋人的视知觉加工除了表现出在副中央凹处获得增强外，还由于中央凹处的视觉注意资源分配减少而阻碍中央凹处的加工。大量知觉任务的研究发现，聋人将更多的注意资源分配在中央凹以外视野区域，使该处的加工效率更高；同时，也导致了聋人中央凹视野内注意资源分配减少，使中央凹视野内的信息加工受到阻碍，表现为聋人比健听者更容易受到外周干扰刺激的影响(Dye, 2016; Proksch & Bavelier, 2002; Sladen, Tharpe, Ashmead, Grantham, & Chun, 2005)。而人脑对中央凹处刺激的加工速度最快、加工效率最高；在阅读中，读者需要不断地转移眼睛注视的位置，使新的文本信息能够落入中央凹处以获得精细加工，从而保证阅读的正常进行(Rayner, 1998, 2009; Rayner, Schotter, Masson, Potter, & Treiman, 2016)。因此，如果聋人中央凹处的文本信息加工由于视觉注意资源分配的减少而受到阻碍，那么其阅读效率也可能会受到影响。

但目前尚无研究考察聋人这种视觉注意资源分配的特点是否会影响读者的阅读加工。而一项关于阅读障碍的个案研究可以为此提供线索：该患者阅读困难的原因在于，副中央凹处的文本信息使其难以将注意集中于当前词上，从而干扰了对中央凹当前词的加工(Rayner, Murphy, Henderson, & Pollatsek, 1989)。因此，为探究聋人视觉注意与阅读加工之间的关系，基于以往聋人知觉任务中的表现，本研究尝试提出“聋人阅读中的副中央凹视觉注意增强效

应”，实际上，它包含两层含义：一是由于聋人视觉注意资源的空间分布发生改变，使聋人副中央凹处的视觉注意分配增多，表现出在副中央凹处的信息加工增强；二是，聋人中央凹处的视觉注意分配减少，表现出在中央凹处的信息加工减弱，进而影响其阅读效率。

对于熟练读者而言，从文本中获取视觉信息是一项基本技能，文本词汇的视觉编码是阅读中语言加工的首要前提(刘志方，张智军，赵亚军，2011；闫国利，刘妮娜，梁菲菲，刘志方，白学军, 2015; Liu, Pan, Tong, & Liu, 2017；刘妮娜, 2015；刘志方，翁世华，张峰, 2014)，读者只有获得了足够的文本视觉信息，才能够进行阅读的认知加工(Blythe，2014)；且文本词汇的视觉编码是读者视觉系统与认知系统相互作用的过程(闫国利等, 2015)。那么，聋人读者是否由于视觉注意资源的再分配使其文本信息的视觉编码受到影响，从而影响其阅读中的认知加工呢？用于探究这一问题的有效方法之一是消失文本范式(disappearing text paradigm; Rayner, Liversedge, White, &Vergilino-Perez, 2003)：当读者注视一个词达到某特定时间(如 40 ms)后，该词就会“消失”，即变成空白；当下一个注视开始时，原来消失的词又重新呈现，而当前注视词会在呈现相同的时间(40 ms)后消失。尽管注视词在呈现 40 ms 后“消失”，但并不意味着大脑对该词的加工已经完成，而是眼睛继续停留在注视词处进行认知加工；在注视词呈现的短暂时间内，读者需要快速地从文本中获取所需的全部视觉信息并进行编码，进而保障随后的阅读加工过程(闫国利，巫金根，胡晏雯，白学军，2010；刘志方，张智君，潘运，仝文，苏衡, 2017; Blythe, Häikiö, Bertam, Liversedge, & Hyönä, 2011)。换言之，通过操纵文本呈现的时间，可以考察读者阅读过程中词汇视觉编码所必须的时间，进而反映读者阅读中的视觉加工效率(Blythe, Liversedge, Joseph, White, & Rayner, 2009; Rayner et al., 2003)。因此，本研究拟采用该范式比较聋人读者与健听读者在文本词汇视觉编码速度上的差异，以探究聋人读者“副中央凹视觉注意增强效应”对其副中央凹及中央凹处的视觉编码以及阅读加工的影响。

基于以上分析，本研究分别通过两个实验来考察聋人的视觉注意与阅读加工之间的关系。如果正如“聋人阅读中的副中央凹视觉注意增强效应”所假设的：首先，相比于健听读者，聋人读者在副中央凹处的视觉注意分配增多，则对副中央凹处的文本词汇视觉编码效率也更高，表现为副中央凹处文本所必须的视觉编码时间更短；那么，在实验 1 中操纵词 n+1 的呈现时间，比较聋人读者在正常文本与消失文本条件下的眼动行为变化(如总阅读时间，该指标是反映消失文本的操纵是否影响读者总体阅读效率的最重要的指标; Blythe et al., 2009, 2011)，我们假设，两种文本呈现条件下聋人读者的总阅读时间不受影响，而健听读者的总阅读时间可能有所增加。其次，相反地，由于聋人在中央凹处的视觉注意分配减少，则对中央

凹处的文本词汇视觉编码效率会降低，表现为中央凹处文本所必须的视觉编码时间更长；那么，在实验 2 中操纵词 n 的呈现时间，同样比较聋人读者在正常文本与消失文本条件下的眼动行为变化，我们假设，聋人读者会表现出在消失文本条件下的总阅读时间显著增加，而健听读者几乎不受影响。

另外，以往研究通过考察消失文本条件下的词频效应来探究读者在短暂的视觉呈现时，能否完成正常的词汇加工；词频效应能够反映读者局部的词汇识别和通达能力，并在语言加工的早期阶段(如单一注视时间、首次注视时间)产生影响(Blythe et al., 2009; Liversedge et al., 2004; Rayner, Liversedge, & White, 2006; Rayner et al., 2003; Rayner, Yang, Castelhano, & Liversedge, 2011)。因此，本研究通过设置高低、频的目标词来考察聋人读者在短暂文本呈现条件下的词频效应，以进一步探究“副中央凹视觉注意增强效应”对词汇加工过程的影响。若消失文本条件下目标词的词频效应显著，则说明读者在较短的视觉编码时间内仍能完成词汇加工；反之，则表明其局部的词汇加工遇到阻碍。总之，本研究通过消失文本范式来探究在阅读加工中，聋人读者是否表现出在副中央凹处的加工效率更高，并且由于副中央的视觉注意增强阻碍聋人读者中央凹处的加工效率。

2 实验 1：聋生副中央凹视觉信息编码速度的眼动研究

2.1 研究方法

2.1.1 被试

29 名聋生[1](deaf student, DS)来自天津市聋人学校，年龄范围在 15~18 岁(15.86 ± 2.13)，筛选入组标准如下：(1)优势耳的听力受损程度≥ 90dB，属于一级听力残疾; (2)被试先天失聪或在学语期(3 岁)之前失聪; (3)均未佩戴人工耳蜗; (4)除听力障碍外，无其他疾病或障碍，智力为正常水平; (5)其父母均无听力障碍及其他疾病或障碍。

对符合上述筛选入组标准的聋生进行阅读能力测验，包括正字法意识、阅读流畅性和阅读理解(Lei et al., 2011; Song et al., 2015; Zhang et al., 2014)，按其阅读水平进行一一匹配(在三项阅读能力测验上均无显著差异，结果见表 1)，得到阅读水平匹配组(reading control, RC)——29 名小学五年级学生，年龄范围在 9~12 岁(10.29 ± 1.60)，听力正常，无其他疾病。

[1]在实际采集实验数据时，共有 32 名聋生参与到实验中，但其中三名聋生由于正确率过低(低于 50%)或设备原因，在数据整理阶段被删除。由于健听匹配组被试与聋生被试采用一一匹配的方式，因此同样删去健听被试三人。

表 1　聋生组(DS)与阅读能力匹配组(RC)的阅读能力测验分数[M (SD)]

阅读测验项目	DS	RC
正字法意识(正确率%)	74.09 (13.00)	73.21 (8.41)
阅读流畅性(字/分)	302.76 (136.04)	314.44 (99.00)
阅读理解(分)	10.86 (2.82)	11.31 (2.34)

另外，为避免由于成熟因素带来的误差，按照上述聋生的生理年龄进行匹配，得到生理年龄匹配组(age control, AC)——29 名高中生，年龄范围 15~18 岁(15.86 ± 1.56)，两组被试在生理年龄上无显著差异(t = 1.73, p < 0.05)。听力正常，无其他疾病。

所有被试的视力或矫正视力正常，均为右利手。实验结束后，赠送小礼品作为报酬。

2.1.2　实验材料

材料编制：首先从《人民日报语料库》中选择 96 对高低频双字词作为目标词。其中 48 对双字词用于实验 1，其高频词的平均词频为 515 次/百万(范围为 82~3342 次/百万)，平均笔画数为 15.83，语义家族大小为 1.58；低频词的平均词频为 5 次/百万(范围为 0~12 次/百万)，平均笔画数为 14.25，语义家族大小为 1.29，词频差异显著(t = 3.37, p < 0.01)、笔画数差异不显著(t = 1.25, p > 0.05)、语义家族大小差异不显著(t = 1.04, p > 0.05)。另外 48 对双字词用于实验 2，其高频词的平均词频为 502 次/百万(范围为 76~2193 次/百万)，平均笔画数为 14.25，语义家族大小为 1.58；低频词的平均词频为 12 次/百万(范围为 0~27 次/百万)，平均笔画数为 15.33，语义家族大小为 1.21，词频差异显著(t = 4.76, p < 0.001)、笔画数差异不显著(t = −0.98, p > 0.05)、语义家族大小差异不显著(t = 1.74, p > 0.05)。为每一对高低频目标词编造两个中性句子框架，要求每一对词都可以放进完全相同的两个句子框架中，且位于句子的中间。总共为对目标词编造96个中性句子框架，保证每个句子由7~8个双字词构成，无模糊句法与歧义，句中无标点符号(实验材料举例见表 2)。

表 2　实验材料举例

框架 1	高频词(HF)	世界珍稀***植物*** 标本将于明天展出。
	低频词(LF)	世界珍稀***鸟类*** 标本将于明天展出。
框架 2	高频词(HF)	研究显示每年许多***植物*** 濒临灭绝。
	低频词(LF)	研究显示每年许多***鸟类*** 濒临灭绝。

材料评定：请不参与眼动实验的小学五年级学生 60 人、高中一年级学生 60 人分别对上述句子的难度、通顺性和合理性进行 5 点量表评定(非常容易/不通顺/不合理为 1 分 ~ 非常难/通顺/合理为 5 分)。小学生通顺性评分为 4.39 ± 0.29，中学生通顺性评分为 4.21 ± 0.24，句子通顺性差异不显著(t = 1.94, p > 0.05)；小学生难度评分为 1.26 ± 0.16，中学生难度评分为 1.22 ± 0.20，句子难度差异不显著(t = 1.70, p > 0.05)；小学生合理性评分为 3.70 ± 0.37，中学

生合理性评分为 3.65 ± 0.34，句子难度差异不显著($t = 1.49$, $p > 0.05$)。另外请小学五年级学生 20 人、中学生 20 人对目标词的预测性进行评定，预测性的平均值为 0.2%。且句中所有词汇均无生词。

另请两位聋人学校的语文教师对实验句子是否适合聋生阅读进行评价，包括句子难度以及目标词是否容易理解。经过聋人教师评价，所选实验句符合聋人的阅读水平。

2.1.3 实验设计

采用消失文本范式(实验范式举例见表 3)，操纵注视词 n+1 的文本呈现时间，实验设计为 3(被试类型：DS, RC,AC)×2(消失条件：40 ms 后消失[2]，正常呈现条件)×2(目标词词频：高频，低频)的混合实验设计，其中被试类型为被试间变量，消失条件和目标词词频为被试内变量。

表 3 消失文本实验范式举例

注视	实验 1 副中央凹词 n+1 的消失	实验 2 中央凹词 n 的消失
当前注视开始	世界珍稀**植物**标本将于明天展出。	世界珍稀**植物**标本将于明天展出。
注视 40 ms 之后	世界珍稀**植物**　　将于明天展出。	世界珍稀　　标本将于明天展出。
下一注视开始	世界珍稀植物**标本**将于明天展出。	世界珍稀植物**标本**将于明天展出。
注视 40 ms 后	世界珍稀植物**标本**　　明天展出。	世界珍稀植物　　将于明天展出。

2.1.4 实验设备与程序

使用 Experiment Builder 软件编写实验程序, Eyelink 2000 型眼动仪记录眼动和行为反应的数据，实验程序呈现在 19-inch 的 CRT 显示器(屏幕刷新率 120 Hz)上，分辨率为 1024×768 像素。被试距离显示器的距离约为 65 cm，每个汉字对应 1° 视角。

首先，为被试讲解实验指导语；聋人被试在进行实验之前，请手语老师将指导语转化成手语视频，每名聋生实验开始前观看该视频，确保每名被试都清楚实验过程。然后，对被试进行三点校准，并要求被试在实验中保证下颌一直放在下颌托上，以防头部发生较大幅度的运动。实验中，每次句子呈现之前，屏幕左侧都会出现漂移校准点；漂移校准成功，由主试按键，屏幕将呈现实验句。有些句子的后面会呈现“是”或“否”的判断句，以促使被试认真阅读句子。在整个实验中判断句的比例占总句子的 30%。每个被试完成整个实验过程大约需要

[2]消失文本的呈现时间实际上是指在实验程序中的设置，但在这种呈现随眼动变化范式中，文本实际的呈现会存在由于显示器刷新造成屏幕显示变化的延迟现象，使得文本实际呈现的时间大于所实验程序所设置的时间。根据以往研究经验，延迟时间在每一次屏幕刷新变化时可能在 2~12 ms 之间随机变化。因此，本研究中将消失文本条件下的呈现时间表述为实验程序中设置的呈现时间 40 ms (不包含延迟时间)。

20 分钟，中间可以根据需要休息一至两次，每次休息后重新进行校准。

2.1.5　统计方法与处理

眼动数据分析包括：整体分析(global analyses)，是以整句为兴趣区对阅读过程中所有注视和眼跳行为进行分析，旨在分析总体的阅读加工过程；局部分析(local analyses)，是以目标词为单位进行分析，旨在分析局部的词汇加工与通达过程(闫国利等, 2013)。

其中，整体分析的相关眼动指标有：总阅读时间(句子中所有的注视时间和眼跳持续时间的总和，反映阅读的整体加工情况)、跳读率(首次阅读中词汇被跳读的概率，被跳读的词汇可能在副中央凹已被加工)和回视次数(当前注视词向之前某个词语的眼跳次数，反映句子整合的加工过程)。

局部分析的相关眼动指标有：凝视时间(从首次注视点开始到注视点首次离开句子中目标词所在区域之间的持续时间，包括目标词内的回视，是反映词汇通达早期阶段的指标)和总注视时间(落在目标词所在区域内的所有注视点的时间的总和，反映词汇加工相对后期的阶段)。

首先，对眼动数据进行整理(Liversedge et al., 2004; Rayner et al., 2006, 2003, 2011)：(1)删去无效的实验句子，主要包括因按键错误、被试头动、咳嗽或眼镜反光等因素导致眼动数据丢失的句子，以及整句的注视点总数少于 3 个的句子；(2)删去极端数据，首先将注视时间小于 80 ms 或大于 1200 ms 的所有注视点作为极端数据删去；另外将各个指标的平均数加减三个标准差之外的数据为极端数据；(3)删去实验中判断句回答正确率低于 80% 的被试数据。共删除约为 2.87 %的无效数据。

所有数据采用 R 语言(R Development Core Team)和 lme4 语言包进行线性混合模型(LMEMs, liner mixed-effects model)的数据处理(Bates, Maechler, & Bolker, 2011; Barr, Levy, Scheepers, & Tily, 2013)。对每一项眼动指标，我们建立了以被试和项目因素为交叉随机效应(crossed random effects)，被试类型、文本呈现条件、词频为固定变量(fixed factors)的模型；并在模型内进行了两次连续差异对比(successive difference contrasts, Venable & Ripley, 2002)以比较聋生组与阅读能力匹配组以及聋生组与生理年龄匹配组之间的差异，由此产生两个三阶交互作用(DS vs RC ×文本呈现方式×词频, DS vs AC ×文本呈现方式×词频)、两个与文本呈现方式因素的二阶交互作用以及两个与词频因素的二阶交互作用；模型首先包含全部的随机效应(随机截距 random intercepts 和随机斜率 random slopes)，之后，通过似然比检验(likelihood ratio tests)对模型进行比较，并逐渐简化至包含被试和项目的随机截距。在对跳读率这一指标进行分析时，根据跳读率的分布检验(qq-norm)将跳读率进行对数转换

(log-transform)后符合 LMM 的基本假设，进而将对数转换后的跳读率作为因变量进行分析(Kliegl, Masson, & Richter, 2010; Yan, Pan, et al., 2015; Pan et al., 2015)。通常，若 t 或 z 值大于 2 则被视为差异显著。

2.2 结果

2.2.1 阅读理解正确率

聋生组、阅读能力匹配组、生理年龄匹配组的平均正确率分别为 91.7%, 90.8%, 92.2%, 三组被试的阅读理解正确率不存在显著差异，可以认为三组被试均较好地理解了实验句子。

2.2.2 整体分析

对被试各项整体分析的眼动指标进行 3(被试类型：DS, RC,AC)×2(消失条件：40 ms 后消失，正常呈现条件)的方差分析(描述统计结果见表 4)。

表 4 实验 1 三组被试在两种文本呈现方式下眼动指标(整体分析) [*M* (*SD*)]

眼动指标	聋生组		阅读能力匹配组		生理年龄匹配组	
(整理分析)	40 ms 消失	正常呈现	40 ms 消失	正常呈现	40 ms 消失	正常呈现
总阅读时间(ms)	3795 (1272)	3676 (1232)	4121 (1443)	3869 (1249)	3047 (862)	3065 (914)
跳读率(%)	35 (13)	31 (17)	25 (11)	17 (11)	28 (10)	25 (12)
回视次数(次)	3.08 (1.23)	2.8 (1.38)	2.57 (1.14)	2.62 (1.06)	2.52 (0.98)	2.54 (0.93)

(1)总阅读时间：消失文本条件下的总阅读时间显著长于正常文本条件下(b = 1060.16, SE = 299.97, t = 3.53); RC 组和 DS 组的总阅读时间均显著长于 AC 组(b_{RC} = 1153.49, SE_{RC} = 308.42,t_{RC} = 3.44; b_{DS} = 747.56, SE_{DS} = 305.50, t_{DS} = 2.45)。进一步比较三组被试在两种文本呈现条件下总阅读时间上的差异，只有 RC 组在 40 ms 消失条件下的总阅读时间显著长于正常条件下(b = 235.33, SE = 90.54, t = 2.60)，而 DS 组与 AC 组则在两种呈现条件下的总阅读时间无显著差异(b_{DS} = 147.05, SE_{DS} = 88.57, t_{DS} = 1.66; b_{AC} = 18.08, SE_{AC} = 61.87, t_{RC} = 0.292)。由结果表明，阅读能力匹配组的总阅读时间受到消失文本操纵的显著影响，而聋生组与生理年龄匹配组的总阅读时间则不受影响。

(2)跳读率：消失文本条件下的跳读率显著高于正常文本条件下(b = 0.56, SE = 0.14, z = 3.99); RC 组和 AC 组跳读率均显著低于 DS 组(b_{RC} = 0.18, SE_{RC} = 0.05, z_{RC} = 3.61; b_{AC} = 0.29, SE_{AC} = 0.08, z_{AC} = 3.63)。进一步比较三组被试在两种文本呈现条件下跳读率上的差异，三组被试在 40 ms 消失条件下的跳读率均显著高于正常条件下(b_{DS} = 0.38, SE_{DS} = 0.11, z_{DS} = 3.45; b_{RC} = 0.28, SE_{RC} = 0.08, z_{RC} = 3.51; b_{AC} = 0.26, SE_{AC} = 0.07, z_{AC} = 3.74)。由结果表明，三组被试的跳读率均受到消失文本操纵的影响，在 40 ms 的消失文本条件下，跳读率显著提高，且聋生组的跳读率显著高于健听控制组。

(3)回视次数：两种文本呈现条件下的回视次数无显著差异(b = 2.76, SE = 1.75, t = 1.58), 被试类型差异亦不显著(b = 1.77, SE = 0.99, t = 1.78)。由结果表明，消失文本操纵对三组被试

的回视次数影响较小，回视次数并无显著增多。

2.2.3　局部分析

对被试在目标词上各项局部分析的眼动指标进行 3(被试类型：DS, RC,AC)×2(消失条件：40 ms 后消失，正常呈现条件)×2(目标词词频：高频，低频)的重复测量方差分析(描述统计结果见表 5)。

表 5　实验 1 三组被试在不同文本呈现条件下眼动指标(局部分析) [*M* (*SD*)]

眼动指标(局部分析)	被试类型	呈现条件			
		40 ms		正常	
		高频	低频	高频	低频
凝视时间(ms)	聋生组	294 (64)	311 (72)	286 (69)	287 (76)
	阅读能力匹配组	352 (71)	375 (70)	303 (77)	345 (82)
	生理年龄匹配组	298 (74)	321 (74)	283 (56)	283 (60)
总注视时间(ms)	聋生组	518 (154)	579 (173)	521 (124)	549 (161)
	阅读能力匹配组	543 (166)	598 (162)	490 (171)	555 (167)
	生理年龄匹配组	452 (134)	478 (126)	453 (121)	464 (128)

(1)凝视时间：消失文本条件下的凝视时间显著长于正常文本条件下(b = 25.61, SE = 5.31, t = 4.82)，高频目标词的凝视时间短于低频目标词的凝视时间(b = 19.66, SE = 8.88, t = 2.21)，三组被试在消失文本条件下的词频效应均显著(b_{DS} = 19.59, SE_{DS} = 9.65, t_{DS} = 2.03; b_{RC} = 33.29, SE_{RC} = 12.76, t_{RC} = 2.61; b_{AC} = 24.92, SE_{AC} = 8.92, t_{AC} = 2.79)。

(2)总注视时间：消失文本条件下的总注视时间显著长于正常文本条件下(b = 22.16, SE = 9.00, t = 2.46)，高频目标词的总注视时间短于低频目标词的总注视时间(b = 44.82, SE = 16.51, t = 2.46)，三组被试在消失文本条件下的词频效应均显著(b_{DS} = 60.61, SE_{DS} = 28.48, t_{DS} = 2.13; b_{RC} = 46.93, SE_{RC} = 14.98, t_{RC} = 2.61; b_{AC} = 25.33, SE_{AC} = 12.60, t_{AC} = 2.01)。

2.3　讨论

实验 1 采用消失文本范式操纵副中央凹词 n+1 的呈现时间，考察聋生在自然句子阅读中副中央凹处词汇视觉编码的加工效率。结果发现，对于不同组别的读者，消失文本操纵的影响存在差异：尤其在总阅读时间上，只有阅读能力匹配组在消失文本条件下阅读时间显著长于正常文本呈现条件，而另外两组则在两种文本呈现条件下差异不显著。即阅读能力匹配组在副中央凹词 n+1 短暂呈现时，其总体阅读效率受到显著影响，而聋生组和生理年龄匹配组几乎未受到影响。这表明词 n+1 的短暂呈现不足以满足阅读能力匹配组对副中央凹处文本信息的视觉编码，其总阅读效率低于生理年龄匹配组，这很有可能是由于前者的阅读加工尚未发展成熟造成的。但值得注意的是，聋生组对副中央凹词 n+1 的视觉信息编码效率与其生理年龄匹配组无显著差异，表明两者在副中央凹处的词汇视觉编码效率相近，这表明聋生的副中央凹视知觉加工已达到同龄健听读者的水平。

另有一种理论上可能的数据结果解释：不管是在正常文本呈现还是 40 ms 消失文本条件下，聋人读者均无法对副中央上的词进行加工，所以导致两种文本呈现条件下的总阅读时间等眼动指标无显著差异。但在句子阅读过程中，读者仅依靠中央凹区域处的文本信息并不能高效地完成阅读加工，副中央凹区域处的信息对阅读加工也至关重要(Hyönä, 2012)；当副中央凹区域处的信息被掩蔽时，读者阅读效率将受到严重的影响(Rayner, 1998, 2009)。正如关于聋人知觉广度的研究发现，由于聋人视觉注意资源的再分配，使聋人读者对副中央凹处的视觉信息输入产生偏向(Dye et al., 2008)，因而相比于健听读者，聋人读者的阅读知觉广度更大(Bélanger et al., 2012)，中国聋人大学生的右侧阅读知觉广度约为 2~3 个字(乔静芝等, 2011)。因此，无论是正常呈现还是 40 ms 消失的阅读条件下，聋人读者必然会对阅读知觉广度范围内的副中央凹词 n+1 进行加工，以保证完成阅读任务。

总之，实验 1 发现，在词 n+1 呈现时间较短时，聋人读者的总体阅读效率和词汇通达均未受影响。与健听控制组相比，聋人读者在总阅读效率上表现出快速编码副中央凹处文本信息的加工效率与其生理年龄匹配组无显著差异。综合以往研究，聋人读者在副中央凹处获取信息的范围和加工阶段方面均优于健听同龄读者(Bélanger et al., 2012; Pan et al., 2015; Yan, Pan, et al., 2015)，这说明聋人读者在阅读过程中的副中央凹加工效率获得一定的增强。

同时，以往知觉任务的研究发现，聋人比健听者更容易受到外周干扰刺激的影响，对中央凹处目标刺激的反应时更长(Dye, 2016; Proksch & Bavelier, 2002; Sladen et al., 2005)，即聋人在副中央凹处的视觉注意增强对其中央凹加工起到阻碍作用。因此，“聋人阅读中的副中央凹视觉注意增强效应”假设，聋人读者在副中央凹的视觉注意增强会减弱其中央凹处的视觉注意资源，使其中央凹处的信息加工受到阻碍。因此，实验 2 旨在考察聋人读者在中央凹处的视觉信息编码效率。若相比于健听读者，聋人读者在中央凹词 n 短暂呈现条件下的阅读受到显著影响，则表明聋人读者中央凹处的词汇视觉编码效率降低，因而其中央凹的认知加工受阻。

3 实验 2：聋生中央凹视觉信息编码速度的眼动研究

3.1 研究方法

3.1.1 被试

同实验 1。与实验 1 间隔一周后进行。

3.1.2 实验材料

见实验 1。

3.1.3 实验设计

同实验 1。操纵注视词 n 的文本呈现时间。3(被试类型：DS, RC,AC)×2(消失条件：40 ms 后消失，正常呈现条件)×2(目标词词频：高频，低频)的混合实验设计，其中被试类型为被试间变量，消失条件和目标词词频为被试内变量。

3.1.4 实验设备与程序

同实验 1。

3.1.5 统计方法与处理

同实验 1。

3.2 结果

3.2.1 阅读理解正确率

聋生组、阅读能力匹配组、生理年龄匹配组的平均正确率分别为 89.7%, 91.3%, 90.8%，三组被试的阅读理解正确率不存在显著差异，可以认为三组被试均较好地理解了实验句子。

3.2.2 整体分析

对被试各项整体分析的眼动指标进行 3(被试类型：DS, RC,AC)×2(消失条件：40 ms 后消失，正常呈现条件)的方差分析(结果见表 6)。

表 6 实验 2 三组被试在两种文本呈现方式下眼动指标(整体分析) [*M* (*SD*)]

眼动指标	聋生组		阅读能力匹配组		生理年龄匹配组	
(整体分析)	40 ms 消失	正常呈现	40 ms 消失	正常呈现	40 ms 消失	正常呈现
总阅读时间(ms)	4805 (1519)	4340 (1458)	4498 (1295)	4416 (1151)	3622 (1074)	3549 (1122)
跳读率(%)	34 (11)	34 (11)	23 (10)	21 (11)	28 (11)	26 (12)
回视次数(次)	4.78 (1.35)	3.69 (1.76)	4.17 (1.56)	3.17 (0.95)	3.14 (1.18)	2.95 (1.32)

(1)总阅读时间：消失文本条件下的总阅读时间显著长于正常文本条件下(b = 1350.43, SE = 317.61, t = 4.25)；DS 组和 RC 组的总阅读时间均显著长于 AC 组(b_{DS} = 1620.96, SE_{DS} = 241.84, t_{DS} = 6.70; b_{RC} = 1545.67, SE_{RC} = 323.27, t_{RC} = 4.78)。进一步比较三组被试在两种文本呈现条件下总阅读时间上的差异，只有 DS 组在 40 ms 消失条件下的总阅读时间显著长于正常条件下(b = 390.50, SE = 120.97, t = 3.23)，而 RC 组与 AC 组则在两种呈现条件下的总阅读时间无显著差异(b_{RC} = 7.84, SE_{RC} = 120.59, t_{RC} = 0.07; b_{AC} = 7.03, SE_{AC} = 121.62, t_{AC} = 0.06)。由结果表明，聋生的总阅读时间受到消失文本操纵的显著影响，而健听控制组的总阅读时间则不受影响。

(2)跳读率：消失文本条件下的跳读率显著高于正常文本条件下(b = 0.54, SE = 0.20, z = 2.67); RC 组和 AC 组跳读率均显著低于 DS 组(b_{RC} = 0.24, SE_{RC} = 0.07, z_{RC} = 3.43; b_{AC} = 0.23, SE_{AC} = 0.08, z_{AC} = 2.88)。进一步比较三组被试在两种文本呈现条件下跳读率上的差异，三组

被试在 40 ms 消失条件下的跳读率均显著高于正常条件下(b_{DS} = 0.10, SE_{DS} = 0.05, z_{DS} = 1.99; b_{RC} = 0.35, SE_{RC} = 0.09, z_{RC} = 3.88; b_{AC} = 0.36, SE_{AC} = 0.10, z_{AC} = 3.64)。由结果表明，三组被试的跳读率均受到消失文本操纵的影响，在 40 ms 的消失文本条件下，跳读率显著提高，且聋生组的跳读率显著高于健听控制组。

(3)回视次数：消失文本条件下的回视次数显著多于正常文本条件下(b = 4.37, SE = 1.49, t = 2.93); DS 组和 RC 组的回视次数均显著多于 AC 组(b_{DS} = 4.22, SE_{DS} = 1.07, t_{DS} = 3.94; b_{RC} = 3.84, SE_{RC} = 1.39, t_{RC} = 2.76)。进一步比较三组被试在两种文本呈现条件下回视次数上的差异，DS 组和 RC 组在 40 ms 消失条件下的回视次数显著多于正常条件下(b_{DS} = 1.33, SE_{DS} = 0.27, t_{DS} = 4.91; b_{RC} = 1.05, SE_{RC} = 0.29, t_{RC} = 3.62)，而 AC 组则在两种呈现条件下的回视次数无显著差异(b_{AC} = 0.21, SE_{AC} = 0.28, t_{AC} = 0.76)。结果表明，聋生组与阅读能力匹配组被试的回视次数均受到消失文本操纵的影响，在 40 ms 的消失文本条件下，回视次数显著增多，但 AC 组的回视次数未受到文本呈现条件的影响。

3.2.3　局部分析

对被试在目标词上各项局部分析的眼动指标进行 3(被试类型：DS, RC,AC)×2(消失条件：40 ms 后消失，正常呈现条件)×2(目标词词频：高频、低频)的重复测量方差分析(结果见表7)。

表 7　实验 2 三组被试在不同文本呈现条件下眼动指标(局部分析) [M (SD)]

眼动指标(局部分析)	被试类型	呈现条件			
		40 ms		正常	
		高频	低频	高频	低频
凝视时间(ms)	聋生组	282 (75)	272 (67)	262 (77)	304 (126)
	阅读能力匹配组	301 (80)	327 (97)	321 (87)	350 (87)
	生理年龄匹配组	282 (63)	334 (99)	292 (62)	322 (71)
总注视时间(ms)	聋生组	791 (213)	851 (285)	654 (284)	819 (259)
	阅读能力匹配组	654 (216)	794 (279)	597 (216)	771 (265)
	生理年龄匹配组	560 (223)	622 (185)	537 (176)	599 (199)

(1)凝视时间：消失文本条件下的凝视时间显著长于正常文本条件下(b = 14.08, SE = 7.08, t = 1.99)，高频目标词的凝视时间短于低频目标词的凝视时间(b = 29.53, SE = 11.80, t = 2.50)。进一步比较三组被试在消失文本条件下的词频效应，只有 DS 组在 40 ms 消失条件下的词频效应不显著(b_{DS} = 5.77, SE_{DS} = 10.40, t_{DS} = 0.56), RC 组和 AC 组则在消失文本条件下的词频效应显著(b_{RC} = 25.43, SE_{RC} = 12.24, t_{RC} = 2.08; b_{AC} = 44.87, SE_{AC} = 15.26, t_{AC} = 2.94)。由结果表明，在目标词的凝视时间上，聋生在消失条件下的词频效应不显著(见图1)，表明短暂呈现的文本信息阻碍了聋生在早期加工中获取词 n 的词汇信息。

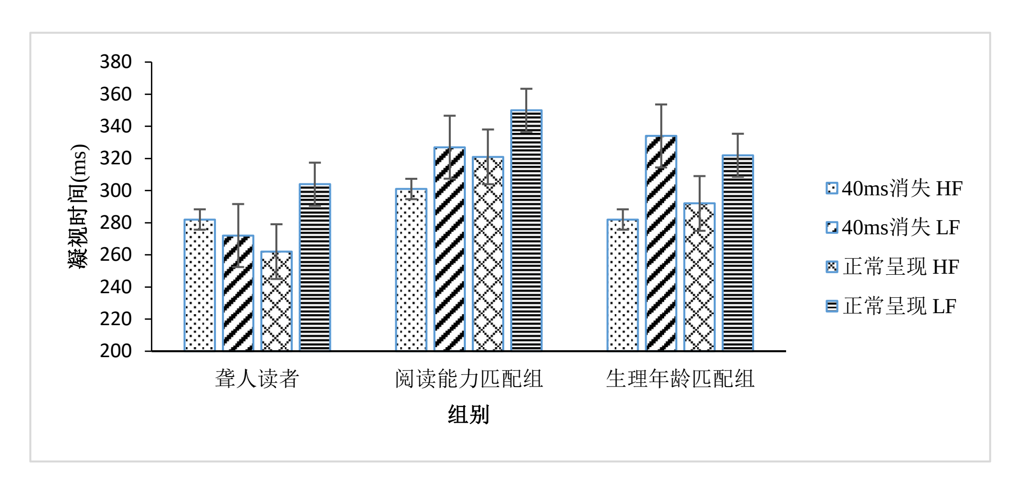


图 1　三组被试在实验 2 高、低频目标词区域的凝视时间分析结果

(2)总注视时间：消失文本条件下的总注视时间显著长于正常文本条件下(b = 75.45, SE = 20.64, t = 3.67)，高频目标词的凝视时间短于低频目标词的总注视时间(b = 104.83, SE = 26.21, t = 3.99)。三组被试在消失文本条件下的词频效应均显著(b_{DS} = 98.74, SE_{DS} = 46.82, t_{DS} = 2.11; b_{RC} = 145.75, SE_{RC} = 38.54, t_{RC} = 3.78; b_{AC} = 65.34, SE_{AC} = 23.67, t_{AC} = 2.76)。

3.3　讨论

实验 2 通过消失文本范式操纵中央凹处词 n 的呈现时间，考察聋生在自然句子阅读中中央凹处词汇视觉编码的加工效率。结果发现，对于不同组别的读者，消失文本操纵的影响存在差异：在总阅读时间上，健听读者(阅读能力匹配组和生理年龄匹配组)在两种文本呈现条件下的总阅读时间均无显著差异，表现读者在短暂的中央凹词 n 呈现时间内获取了足够的文本视觉信息；而聋人读者(聋生组)在消失文本条件下的总阅读时间显著长于正常文本条件下的总阅读时间，这表明 40 ms 的文本呈现时间，聋人读者未能将快速获取中央凹词 n 的视觉信息并进行编码，从而影响其总体阅读时间。在回视次数上，聋生组和阅读能力匹配组均表现出在消失文本条件下显著多于正常文本呈现条件，这表明聋生组在中央凹词 n 短暂呈现时，其总体阅读效率受到显著影响，阅读能力匹配组受到轻微影响，而生理年龄匹配组几乎未受到影响。

另外，在目标词的凝视时间上发现，首先发现被试在正常呈现条件下对目标词的凝视时间更长，这与以往的研究结果是一致(Blythe et al., 2009, 2011; 刘妮娜, 2015)。由于词 n 消失文本的操纵会改变读者基于消失文本的眼跳计划，迫使读者的注视迅速离开当前词，因此读者的再注视比率会显著减少；凝视时间是指读者首轮在目标词上多次注视的时间之和，它与再注视比率之间存在正相关，因此，读者在目标词上的凝视时间也表现出减少。同时，读者取消原本眼跳计划、缩短凝视时间是为获取充足的时间进行回视，通过增加回视次数，读者

获得对文本更多的视觉编码时间，从而保证了对句子的阅读理解。而更为值得注意的是，只有聋生在消失条件下的词频效应不显著，这表明短暂的文本呈现时间阻碍了聋生早期阶段的词汇加工与通达，即聋生未能获取足够的文本信息进行视觉编码，从而难以维持后续的词汇认知加工。

总之，实验 2 发现，无论在反映总体阅读效率的因变量指标，还是在反映早期的词汇加工的因变量指标上，聋人读者在中央凹处的视觉编码效率显著差于健听控制组，表明聋人读者的中央凹加工效率受到阻碍。

4 总讨论

为探究聋人读者“副中央凹视觉注意增强效应”对阅读加工的影响，本研究通过消失文本范式，分别操纵词 n+1 和词 n 的呈现时间，系统地比较聋人读者和健听读者在副中央凹及中央凹处词汇视觉信息的编码速度，以探究考察聋人视觉注意资源分配的特点对其副中央凹以及中央凹加工效率的影响。

结果发现，实验 1 中，在词 n+1 的短暂呈现时，聋生快速编码副中央凹处文本信息的加工效率与其生理年龄匹配组相近，高于其阅读能力匹配组。这证实了聋人在阅读中的副中央凹加工效率获得增强。那聋人读者的这种副中央凹处的视觉注意增强是否会对其中央凹处的精细加工起到阻碍作用？实验 2 结果证实了这一假设，在词 n 短暂呈现时，聋生在总阅读时间以及目标词的凝视时间上，均表现出注视时间显著增长，表明聋人难以像健听读者一样高效率地编码中央凹处文本的视觉信息，且在早期加工中的词汇通达遭到破坏，进而使其总阅读时间延长。总之，正如我们所提出“聋人阅读中的副中央凹视觉注意增强效应”，由于聋人视觉注意资源的空间分布发生改变，副中央凹处的视觉注意分配增多，而中央凹处的分配减少，因而使中央凹处的信息加工效率减弱，进而导致阅读效率的下降。

通常人们会认为聋人是“视觉学习者”，具有更好的视觉加工能力(Dowaliby & Lang, 1999; Marschark & Hauser, 2008)，尤其是那些以手语为主要沟通方式的“手语聋人” (Lane, Pillard, & Hedberg, 2011)；但亦有大量研究反驳这一观点(Marschark, Morrison, Lukomski, Borgna, & Convertino, 2013; Marschark et al., 2015, 2017)，他们认为聋人的听觉损伤并不能提高其视觉技能。即聋人究竟是不是“视觉学习者”并不是一个绝对的定论，实际上，视觉注意在不同视野内的分配不同，使其中央凹以外的视觉注意能力增强，而中央凹处的视觉注意能力减弱(Bavelier et al., 2006; Dye & Bavelier, 2010; 项明强，胡耿丹, 2010)。

并且，这种视觉注意的特点对聋人读者阅读过程中的视知觉加工亦产生影响(Dye et al.,

2008)。以往研究发现，聋人读者从副中央凹处获取信息的范围和加工阶段与健听读者不同，表现为他们的阅读知觉广度更大(Bélanger et al., 2012；乔静芝等, 2011)以及能够在更早地从副中央凹预加工中获得语义预视效应(Yan, Pan, et al., 2015)，表明聋人读者在获取文本信息的空间维度上确实表现出了副中央凹加工效率的增强；但本研究通过考察读者获取文本信息时间维度上的视觉编码速度，发现聋人读者在表现出副中央凹加工效率增强的同时，在中央凹加工效率上受到了阻碍。这表明在阅读过程中，聋人的视觉注意能力并不是总有利于其语言加工，甚至是会阻碍其阅读效率。

有研究者认为，由于熟练的聋人读者在阅读加工中并不经过语音编码的中介，因此他们能够直接通过形−义通路来快速地实现语义通达(Yan, Pan, et al., 2015)，从而能够在单次注视内的词汇加工效率高于健听读者(Bélanger & Rayner, 2015)，表现为阅读文本时的跳读更多、再注视更少、回视也更少；而不熟练的聋人读者则与熟练的健听读者无差异。但这样的词汇加工假设不得不令人产生疑问——为什么聋人读者的阅读效率却受到阻碍？

本研究的两项研究均发现：聋生的跳读率确实显著高于健听控制组，在正常文本呈现条件下的跳读率均达到30%以上；但与Bélanger和Rayner (2015)的观点不一致的是，实验2发现聋生的回视次数却显著高于健听控制组。我们认为，这可能与聋人的视觉注意资源分配有关：由于聋人将更多的注意资源分配于副中央凹处，因而能够更早地对副中央凹处的词汇信息进行加工，故当聋人读者在注视词n时，其副中央凹处的词n+1得到更快速的加工，进而更可能做出朝向词n+2的眼跳计划，使得对词n+1的跳读率更高。但是，更高的跳读率可能带来读者在阅读理解上更大的风险；因此，聋人读者会采用回视的策略来弥补首轮加工中可能犯的错误(可能对词n的加工不够充分)，以帮助其获得语义整合。即尽管聋人读者能够对副中央凹预视词的加工更为高效，但由于中央凹处信息的通达才是阅读理解的关键，聋人读者不得不通过做出多次回视来实现中央处的词义通达。

5 结论

在自然句子阅读过程中，聋人读者存在副中央凹视觉注意增强效应。聋人读者快速编码副中央凹处文本信息的加工效率与其同龄健听读者相近，高于同阅读水平的健听读者；但聋人编码中央凹处文本信息的视觉加工受到阻碍，落后于健听读者，这可能是导致其阅读效率下降的原因之一。

参考文献

Bélanger, N. N. (2009). *Reading is in the eye of the beholder: Eye movements and early word processes in deaf readers of French* (Unpublished doctorial dissertation). McGill University.

Bélanger, N. N., & Rayner, K. (2015). What eye movements reveal about deaf readers. *Current Directions in Psychological Science, 24*(3), 220–226.

Bélanger, N. N., Slattery, T. J., Mayberry, R. I., & Rayner, K. (2012). Skilled deaf readers have an enhanced perceptual span in reading. *Psychological Science, 23*(7), 816–823.

Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language, 68*(3), 255–278.

Bates, D. M., Maechler, M., & Bolker, B. (2011). LME4: Linear mixed-effects models using S4 classes. R Package Version 0. 999375–39. Retrieved from http://CRAN.R-project.org/package=lme4

Bavelier, D., Brozinsky, C., Tomann, A., Mitchell, T., Neville, H. J., & Liu, G. Y. (2001). Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. *Journal of Neuroscience, 21*(22), 8931–8942.

Bavelier, D., Dye, M. W. G., & Hauser, P. C. (2006). Do deaf individuals see better? *Trends in Cognitive Sciences, 10*(11), 512–518.

Blythe, H. I. (2014). Developmental changes in eye movements and visual information encoding associated with learning to read. *Current Directions in Psychological Science, 23*(3), 201–207.

Blythe, H. I., Häikiö, T., Bertam, R., Liversedge, S. P., & Hyönä, J. (2011). Reading disappearing text: Why do children refixate words? *Vision Research*, *51*(1), 84–92.

Blythe, H. I., Liversedge, S. P., Joseph, H. S. S. L., White, S. J., & Rayner, K. (2009). Visual information capture during fixations in reading for children and adults. *Vision Research*, *49*(12), 1583–1591.

Bosse, M. L., & Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance: A cross-sectional study. *Journal of Research in Reading*, *32*(2), 230–253.

Casco, C., Tressoldi, P. E., & Dellantonio, A. (1998). Visual selective attention and reading efficiency are related in children. *Cortex, 34*(4), 531–546.

Codina, C., Buckley, D., Port, M., & Pascalis, O. (2011). Deaf and hearing children: A comparison of peripheral vision development. *Developmental Science, 14*(4), 725–737.

Dowaliby, F., & Lang, H. (1999). Adjunct aids in instructional prose: A multimedia study with deaf college students. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, *4*(4), 270–282.

Dye, M. W. G. (2016). Foveal processing under concurrent peripheral load in profoundly deaf adults. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 21*(2), 122–128.

Dye, M. W., & Bavelier, D. (2010). Attentional enhancements and deficits in deaf populations: An integrative review. *Restorative Neurology and Neuroscience, 28*(2), 181–192.

Dye, M. W. G., Hauser, P. C., & Bavelier, D. (2008). Visual skills and cross-modal plasticity in deaf readers: Possible implications for acquiring meaning from print. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1145*, 71–82.

Dye, M. W. G., Hauser, P. C., & Bavelier, D. (2009). Is visual selective attention in deaf individuals enhanced or deficient? The case of the useful field of view. *PLoS One, 4*(5), e5640.

He, H. Z., & He, L. Z. (2007). A research on deaf students' eye-movement in discourse reading. *Chinese Journal of Special Education*, (11), 31–35.

[贺荟中, 贺利中. (2007). 聋生篇章阅读过程的眼动研究. *中国特殊教育*, (11), 31–35.]

Hyönä, J. (2012). Foveal and parafoveal processing during reading. In *The Oxford handbook of eye movements*. Oxford: Oxford University Press.

Kelly, L. P., & Barac-Cikoja, D. (2007). The comprehension of skilled deaf readers: The roles of word recognition and other potentially critical aspects of competence. In K. Cain & J. Oakhill (Eds.), *Children's comprehension problems in oral and written language: A cognitive perspective* (pp. 244–280). New York: Guilford Press.

Kliegl, R., Masson, M. E. J., & Richter, E. M. (2010). A linear mixed model analysis of masked repetition priming. *Visual Cognition*, *18*, 655–681.

Lane, H., Pillard, R. C., & Hedberg, U. (2011). *The people of the eye: Deaf ethnicity and ancestry*. Oxford: Oxford University Press

Lei, L., Pan, J., Liu, H. Y., McBride-Chang, C., Li, H., Zhang, Y. P.,... Shu, H. (2011). Developmental trajectories of reading development and impairment from ages 3 to 8 years in Chinese children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 52*(2), 212–220.

Liu, N. N. (2015). *Revealing the time requirements of information extraction from words in foveal and parafoveal for reading in Chinese* (Unpublished doctorial dissertation). Tianjin Normal University.

[刘妮娜. (2015). *中文阅读中的中央凹和副中央凹信息获取时间研究* (博士学位论文). 天津师范大学.]

Liu, Z. F., Pan, Y., Tong, W., & Liu, N. (2017). Effects of adults aging on word encoding in reading Chinese: Evidence from disappearing text. *PeerJ, 5*, e2897.

Liu, Z. F., Wen, S. H., & Zhang, F. (2014). Analysis of age characteristics on visual coding in Chinese reading: evidence from eye movements. *Psychological Development and Education, 30*(4), 411–419.

[刘志方, 翁世华, 张锋. (2014). 中文阅读中词汇视觉编码的年龄特征: 来自眼动研究的证据. *心理发展与教育, 30*(4), 411–419.]

Liu, Z. F., Zhang, Z. J., Pan, Y., Tong, W., & Su, H. (2017). The characteristics of visual word encoding in preview and fixation frames during Chinese reading: Evidences from disappearing text. *Acta Psychologica Sinica, 49*(7), 853–865.

[刘志方, 张智君, 潘运, 仝文, 苏衡. (2017). 中文阅读中预视阶段和注视阶段内词汇视觉编码的过程特点: 来自消失文本的证据. *心理学报, 49*(7), 853–865.]

Liu, Z. F., Zhang, Z. J., & Zhao, Y. J. (2011). The units saccade targeting based on and words procession style in Chinese reading: Evidences from disappearing text. *Acta Psychologica Sinica, 43*(6), 608–618.

[刘志方, 张智君, 赵亚军. (2011). 汉语阅读中眼跳目标选择单元以及词汇加工方式: 来自消失文本的实验证据. *心理学报, 43*(6), 608–618.]

Liversedge, S. P., Rayner, K., White, S. J., Vergilino-Perez, D., Findlay, J. M., & Kentridge, R. W. (2004). Eye movements when reading disappearing text: Is there a gap effect in reading? *Vision Research*, *44*(10), 1013–1024.

Lork, W. H., & Song, S. (1991). Central and peripheral visual processing in hearing and nonhearing individuals. *Bulletin of the Psychonomic Society, 29*(5), 437–440.

Marschark, M., & Hauser, P. C. (2008). Cognitive underpinnings of learning by deaf and hard-of-hearing students. In *Deaf cognition: Foundations and outcomes* (pp. 3–24). Oxford: Oxford University Press.

Marschark, M., Morrison, C., Lukomski, J., Borgna, G., & Convertino, C. (2013). Are deaf students visual learners? *Learning and Individual Differences*, *25*, 156–162.

Marschark, M., Paivio, A., Spencer, L. J., Durkin, A., Borgna, G., Convertino, C., & Machmer, E. (2017). Don't assume deaf students are visual learners. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, *29*(1), 153–171.

Marschark, M., Spencer, L. J., Durkin, A., Borgna, G., Convertino, C., Machmer, E.,... Trani, A. (2015). Understanding language, hearing status, and visual-spatial skills. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 20*(4), 310–330.

Mayberry, R. I., del Giudice, A. A., & Lieberman, A. M. (2011). Reading achievement in relation to phonological coding and awareness in deaf readers: A meta-analysis. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 16*(2), 164–188.

Pan, J., Shu, H., Wang, Y. L., & Yan, M. (2015). Parafoveal activation of sign translation previews among deaf readers during the reading of Chinese sentences. *Memory and Cognition*, *43*(6), 964–972.

Proksch, J., & Bavelier, D. (2002). Changes in the spatial distribution of visual attention after early deafness. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*(5), 687–701.

Qiao, J. Z., Zhang, L. L., & Yan, G. L. (2011). Comparative research on perceptual span in Chinese reading between deaf college students and hearing college students. *Chinese Journal of Applied Psychology, 17*(3), 249–258, 264.

[乔静芝，张兰兰，闫国利. (2011). 聋人与健听大学生汉语阅读知觉广度的比较研究. *应用心理学, 17*(3), 249–258, 264.]

Rayner, K. (1977). Visual attention in reading: Eye movements reflect cognitive processes. *Memory and Cognition, 5*(4), 443–448.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*(3), 372–422.

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(8), 1457–1506.

Rayner, K., Liversedge, S. P., & White, S. J. (2006). Eye movements when reading disappearing text: The importance of the word to the right of fixation. *Vision Research, 46*(3), 310–323.

Rayner, K., Liversedge, S. P., White, S. J., & Vergilino-Perez, D. (2003). Reading disappearing text: Cognitive control of eye movements. *Psychological Science, 14*(4), 385–388.

Rayner, K., Murphy, L. A., Henderson, J. M., & Pollatsek, A. (1989). Selective attentional dyslexia. *Cognitive Neuropsychology, 6*(4), 357–378.

Rayner, K., Schotter, E. R., Masson, M. E. J., Potter, M. C., & Treiman, R. (2016). So much to read, so little time: How do we read, and can speed reading help? *Psychological Science in the Public Interest, 17*(1), 4–34.

Rayner, K., Yang, J. M., Castelhano, M. S., & Liversedge, S. P. (2011). Eye movements of older and younger readers when reading disappearing text. *Psychology and Aging, 26*(1), 214–223.

Sladen, D. P., Tharpe, A. M., Ashmead, D. H., Grantham, D. W., & Chun, M. M. (2005). Visual attention in deaf and normal hearing adults: Effects of stimulus compatibility. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 48*(6), 1529–1537.

Song, S., Su, M. M., Kang, C. P., Liu, H. Y., Zhang, Y. P., McBride-Chang, C.,... Shu, H. (2015). Tracing children's vocabulary development from preschool through the school-age years: An 8-year longitudinal study. *Developmental Science, 18*(1), 119–131.

Stevens, C., & Neville, H. J. (2006). Neuroplasticity as a double-edged sword: Deaf enhancements and dyslexic deficits in motion processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(5), 701–714.

Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern applied statistics with S* (4th ed.). New York, NY: Springer.

Wang, T. W., & Yang, J. (2013). On the eye movement concerning the attentional capture by hearing-impaired persons and normal persons in different visual positions. *Chinese Journal of Special Education*, (3), 30–36.

[王庭蔚，杨娟. (2013). 不同视野位置下聋人与听力正常人注意捕获的眼动研究. *中国特殊教育*, (3), 30–36.]

Xiang, M. Q., & Hu, G. D. (2010). The visual attention of deaf individuals: Transferred from the center to the periphery. *Chinese Journal of Special Education*, (3), 26–30.

[项明强，胡耿丹. (2010). 聋人视觉注意的改变：从中央转移到边缘视野. *中国特殊教育*, (3), 26–30.]

Yan, G. L., Liu, N. N., Liang, F. F., Liu, Z. F., & Bai, X. J. (2015). The comparison of eye movements between Chinese children and adults when reading disappearing text. *Acta Psychologica Sinica, 47*(3), 300–318.

[闫国利，刘妮娜，梁菲菲，刘志方，白学军. (2015). 中文读者词汇视觉信息获取速度的发展——来自消失文本的证据. *心理学报, 47*(3), 300–318.]

Yan, G. L., Wu, J. G., Hu, Y. W., & Bai, X. J. (2015). Review of Eye Movement Research Paradigms in Reading. *Advances in Psychological Science, 18*(12), 1966–1976.

[闫国利, 巫金根, 胡晏雯, 白学军. (2010). 当前阅读的眼动研究范式述评. *心理科学进展*, *18*(12), 1966–1976.]

Yan, G. L., Xiong, J. P., Zang, C. L., Yu, L. L., Cui, L., & Bai, X. J. (2013). Review of eye-movement measures in reading research. *Advances in Psychological Science, 21*(4), 589–605.

[闫国利, 熊建萍, 臧传丽, 余莉莉, 崔磊, 白学军. (2013). 阅读研究中的主要眼动指标评述. *心理科学进展*, *21*(4), 589–605.]

Yan, M., Pan, J. E., Bélanger, N. N., & Shu, H. (2015). Chinese deaf readers have early access to parafoveal semantics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(1), 254–261.

Zhang, J., McBride-Chang, C., Wong, A. M. Y., Tardif, T., Shu, H., & Zhang, Y. P. (2014). Longitudinal correlates of reading comprehension difficulties in Chinese children. *Reading and Writing*, *27*(3), 481–501.

Zhang, M. L., & Du, X. X. (2011). A review of the researches into hearing-impaired students' reading strategies. *Chinese Journal of Special Education,* (7), 49–59.

[张茂林, 杜晓新. (2011). 听力障碍学生阅读策略研究概述. *中国特殊教育*, (7), 49–59.]

Zhang, X. M., Zhu, D. Q., Zhang, H. T., Shen, J. L., & Lin, C. D. (2006). The effect of pupils' visual attention on reading efficiency. *Educational Research and Experiment*, (5), 59–63.

[张学民, 朱冬青, 张慧婷, 申继亮, 林崇德. (2006). 小学生视觉注意能力对阅读效率的影响. *教育研究与实验*, (5), 59–63.]

Effect of parafoveal visual attention enhancement in deaf reading: Evidence from disappearing text

LIU Lu[1,2]; YAN Guoli[1]

([1] Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China)

([2] School of Education Science, Ludong University, Yantai 264011, China)

Abstract

Visual information is essential to deaf people given their early auditory deprivation. Some researchers have proposed a perspective in which the distribution of deaf visual attention resource shifted from the central to the extrafoveal visual field. This study explores how this unique visual processing ability may influence reading in deaf people and proposes 'the effect of parafoveal visual attention enhancement in deaf reading.' We hypothesise that visual attention resources are reorganised due to the absence of auditory input for deaf people. This reorganisation increased distribution toward the extrafoveal field, but decreased it in the foveal field, resulting in poor reading efficiency.

A total of 29 severely to profoundly deaf students (DS) from a deaf school in Tianjin participated in the present study. Their hearing loss is ≥ 90 dB in the better ear. Participants are either born deaf or became deaf before three years old, and they use Chinese Sign Language (CSL) as their main communication mode. None of them received a cochlear implant. The age control group (AC) has 29 hearing middle school students, which indicated no significant difference in

chronological age with DS. In addition, 29 hearing primary students comprised the reading-level control group (RC). The DS and RC were examined through a series of reading tests, including orthographic judgment task, reading fluency and reading comprehension, to match their reading levels. All participants read Chinese sentences for comprehension as their eye movements were tracked. A total of 48 pairs of target words (48 high frequency and 48 low frequency words) were embedded in two different sentence frames. All sentences consisted of seven or eight double-character words. These sentences were either presented normally or in a disappearing text paradigm that, as each word (n) was fixated, the word (n) or the next word (n + 1) remained visible only for a short period (40 ms) before disappearing. The paradigm was utilised to manipulate the display duration for the parafoveal word n + 1 (Experiment 1) or the foveal word N (Experiment 2) respectively, to compare the efficiency (speed) of encoding visual text information in sentence reading.

In Experiment 1, when word n + 1 was presented briefly (40 ms), the overall sentence reading times were prolonged only for reading-level control group, but no difference was observed between deaf students and age control group. The effect of word frequency on target words was normal for all three groups. By contrast, in Experiment 2, during which word n was presented briefly (40 ms), the overall sentence reading times were prolonged only for deaf students. For gaze duration, the effect of word frequency for target words disappeared for deaf students. Therefore, deaf students showed higher efficiency of encoding parafoveal text information than their reading-level controls in Experiment 1 and were equal to their age controls. However, in Experiment 2, deaf students showed lower efficiency in encoding foveal text information than those in the hearing controls.

In conclusion, the present study confirmed that deaf readers have enhanced parafoveal processing of linguistic information, but their foveal processing was hampered as a consequence. Thus, parafoveal visual attention was enhanced in deaf reading, which may be one of reasons for reading difficulty. Further research is necessary to explore this issue.

Key words: deaf; effect of parafoveal visual attention enhancement in deaf reading; disappearing text; eye movements; Chinese reading